

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.396.969.3

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ РАДИОСИСТЕМ

Амбарцумов К.С., Арефьев В.И., Гордеев В.А., Талалаев А.Б.
ЗАО «РТИС ВКО»

Поступила в редакцию 18.05.2015, после переработки 25.05.2015.

На основе функционального анализа формирования и прохождения сигналов по информационным радиосистемам (ИРС), способов обработки сигналов обоснован выбор критерия качества сложных ИРС, ориентированного на решение задачи минимизации потерь конечного продукта – полезной информации. Осуществлена постановка задачи оценки качества ИРС различного вида, обладающая достаточной общностью и адекватностью по методам обработки сигналов в условиях мультипликативного воздействия и/или случайного изменения параметров среды на трассе ИРС.

Ключевые слова: информационные радиосистемы, радиолокационный сигнал, критерий оценки качества.

Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2015. № 2. С. 95–108.

Введение

Широко распространенное понятие «эффективность» применительно к информационным радиосистемам (ИРС) в научно-технической литературе трактуется столь многообразно, что теряется его общий смысл. Попытки разработки и построения ИРС по различным критериям эффективности, в том числе по сложным и многоаспектным, зачастую приводят к значительному техническому усложнению и неприемлемому удорожанию систем, не всегда приводят к повышению их качества и надежности [1, 6, 8]. Оптимальным является выработка критерия качества ИРС, достаточно просто численно определяемого в реальном времени и однозначно отражающего потери количества и качества конечного продукта – полезной информации. Важно: оценки эффективности по такому критерию, как правило, полностью удовлетворяют заказчиков/потребителей ИРС своей нацеленностью на ожидаемый конечный результат.

Цель данной работы состоит в выборе и обосновании критерия оценки качества сложных ИРС, как отражения их приспособленности для решения задачи минимизации потерь конечного продукта – полезной информации.

Выбор критерия качества сложных систем – это процедура, всегда основывающаяся на опытных и/или расчетных данных (иногда – эвристических соображениях) о приоритете, взаимосвязи и количественной оценке параметров системы, отображающих с той или иной степенью адекватности соответствие условиям функционирования (УСФ) и требованиям потребителя [6, 14, 16].

1. Критерии и способы оценки качества информационных радиосистем

Критерии качества ИРС могут быть одно-, двух- и более параметрическими. В общем случае параметры/характеристики, на которых базируется критерий качества, должны быть определяемыми/измеряемыми и адекватными мере воздействия системы и ее различных элементов (включая среду распространения сигналов) на конечное количество и качество принятой полезной информации.

Полное и точное представление о качестве ИРС можно было бы получать по критерию «минимально возможной вероятности ошибки» – $P_{\text{ош}}$ – в системах связи или «максимально возможной вероятности правильного обнаружения» сигнала от искомого объекта в радиолокации – $P_{\text{обн}}$ – при условии абсолютно адекватной оценки отношения сигнал/помехи q на входе радиоприемного устройства (РПУ). Соответственно отношение q при его адекватном определении было бы оптимальным критерием – одновременно способом оценки качества ИРС, если бы не трудности практической реализации, связанные не только с технической сложностью, но и с потерями в адекватности из-за невозможности точного выделения сигнала из смеси «сигнал + помеха». Кроме того, q не всегда определяет качество ИРС, например, в каналах с дискретно-диффузной многолучевостью [11, 13]. Большинство известных способов оценки обладают, кроме указанного выше, следующими недостатками: они или обеспечивают только эпизодический контроль, или дают оценки с существенной задержкой по времени, или не адекватны на заданных сравнительно коротких интервалах контроля, или требуют прекращения на определенное время передачи полезного сигнала и т.д. Главное, они обеспечивают некое приближение к адекватной оценке лишь при априори известном (предполагаемом) и существенном (выше определенного порога) превышении энергии полезного сигнала (ПС) над помехами в указанной смеси.

Критериями качества ИРС с той или иной степенью соответствия требованиям минимизации потерь полезной информации (то есть, адекватности именно в этом смысле) могут быть величины первичных и/или вторичных параметров принимаемого сигнала, их соотношения, динамические и статистические характеристики. Первичные параметры – те, которые измеряются в точках тракта РПУ до демодуляции, вторичные (их иногда называют еще информационными) – после нее. При оценке по первичным параметрам такими критериями могут быть:

- превышение заданного порога отношением суммарной мощности сигнала и помехи $P_{\text{с+п}}$ (или уровня $U_{\text{с+п}}$) к мощности помех $P_{\text{п}}$ (уровню $U_{\text{п}}$) – $q_{\text{с+п}}$ (иногда этот критерий называют критерием по « q »);
- превышение заданного порога оценкой отношения правдоподобия по выборкам принятого сигнала;
- превышение заданного порога степенью спектральных искажений (ССИ) принятого сигнала и т.д.

Отличия в использовании первых двух критериев в значительной мере определяются различиями в условиях функционирования и технических параметрах ИРС. Общим для них является требование знания закона распределения отношения сигнал/помехи $q_{С+П}$, что конечно далеко не всегда возможно. Оценкам качества ИРС по измерениям $q_{С+П}$ свойственны все указанные выше недостатки известных способов. Тем не менее, критерий/способ по «q» широко применяется ввиду относительной простоты технической реализации и логики восприятия.

В каналах ИРС помехой считают любое воздействие в канале, приводящее в конечном итоге, к потере информации. Это может быть и следствием недопустимого помехового искажения спектра принимаемого сигнала по сравнению с ожидаемым. ССИ непосредственно связана с отношением сигнал/помехи и как критерий качества ИРС используется в радиосвязи (РСв) редко, однако известны результаты экспериментальной проверки эффективности его применения [9]. В радиолокации ССИ эхо-сигнала определяет зачастую полезный эффект, т.е. информативное качество радиоканала может непосредственно зависеть от степени несоответствия спектра исходного излучаемого зондирующего сигнала (ЗС) и принимаемого сигнала, отраженного от наблюдаемого объекта [3, 4, 6]. В то же время, степень спектральных искажений пассивных помех (ПП) может определять возможности эффективной борьбы с ними.

Оценка качества ИРС по вторичным параметрам сигнала в РСв проводится как правило по текущим значениям $P'_{\text{ош}}$ – средней частоты поэлементных ошибок за некоторый период времени или по ее текущей оценке на репрезентативной выборке. Изучение статистик $P'_{\text{ош}}$ позволило построить высококачественные каналы с решающей обратной связью, с применением весьма сложного защитного кодирования и избыточности, многоуровневой адресации и т.п., что конечно сказывается на пропускной способности каналов и приводит к значительному усложнению аппаратуры и ее удорожанию. Однако адекватное определение поэлементных ошибок в действующем канале связи в силу уже указанных причин невозможно, поэтому измерение $P'_{\text{ош}}$ – всегда результат специальных экспериментов, адекватность которых не абсолютна.

В радиолокации (РЛк), в силу необходимости оценки параметров движения наблюдаемых объектов и вытекающего отсюда требования многоканальной обработки эхо-сигналов, способ оценки качества по вторичным параметрам не нашел практического применения. Здесь стремятся построить независимые каналы оценки временных и спектрально-энергетических характеристик помех и полезного сигнала, использовать с максимальным эффектом вероятностно-статистические методы выявления надежных признаков их отличия в парциальных каналах локации. Аналогом оценки по вторичным параметрам в РЛк можно считать широко используемый метод так называемых «отметок» цели, как результатов превышения накопленным детектированным сигналом порогового уровня обнаружения в каждом элементе разрешения многоканальной РЛС. В этом проявляется специфика радиолокации, хотя необходимо заметить, что нет принципиальных препятствий для технически просто реализуемого анализа формы принятого сигнала и его отличий от зондирующего сигнала на выходе тракта обработки и текущей оценки на этой основе качества радиолокационного канала.

Практическое применение каждого критерия подразумевает наличие или разработку соответствующих способов оценки качества ИРС, как способов получе-

ния и обработки определенных измеряемых данных, свидетельствующих в той или иной мере адекватно о текущем состоянии системы с точки зрения соответствия ожиданиям проектировщика. При этом следует рассматривать только такие способы, которые отвечают следующим требованиям:

- адекватность по УСФ (в достаточной мере);
- техническая реализуемость;
- возможность оценки качества в реальном времени без перерыва в эксплуатации системы;
- относительная простота и удобство использования/обслуживания;
- удовлетворительные технико-экономические показатели при реализации.

Способов определения $P_{\text{ош}}$ известно достаточно много. Общее между ними: требование наличия отдельного канала контроля и управления или выделение части пропускной способности под передачу специальных тест - сигналов. Понятно, что следствием является снижение эффективной скорости передачи информации. В [5] показаны практическая целесообразность и преимущества оценки таких характеристик в постоянно действующих каналах связных ИРС путем непрерывного текущего статистического анализа потока сверхпороговых временных искажений (СПВИ) элементарных посылок и определения P'_δ – частоты СПВИ. Такой метод представляется свободным в определенной мере от вышеперечисленных недостатков других известных способов оценки качества ИРС. При этом под СВПИ принимается такое критическое изменение длительности (формы) элементарных импульсов, которое с большой вероятностью приводит к ошибочной оценке их знака. При статистически оправданном пороге СПВИ значения P'_δ имеют высокую корреляционную связь с $P_{\text{ош}}$ [5]. Это логически вполне объяснимо, так как СПВИ – следствие воздействия на сигнал всего комплекса помех в канале, а любая ошибка – качественный результат количественных изменений. Как правило, определяя то или иное конкретное значение вероятностей $P'_{\text{ош}}$ или P'_δ , его связывают с процентом времени, в течение которого оно не превышает, т.е. с надежностью радиолинии по данному критерию. Таким образом получают обобщенную функцию качества [5].

Оценки по $q_{\text{с+п}}$ реализуются достаточно просто, однако платой за это являются определенные потери в адекватности. В большинстве практических случаев оценивают отношение сигнал/помехи по выражению

$$\tilde{q} = q_{\text{с+п}} - 1, \quad (1)$$

предполагая, что оценки помех адекватны действительным помехам в смеси «сигнал + помеха» (что в общем случае нереализуемо). Для оценки по правилу (1) в тракте РПУ до демодулятора осуществляют измерение суммарной мощности сигнала и помех. Мощность (уровень) помех при этом оценивается или в соседней полосе частот, или со сдвигом во времени. Естественно, в этом случае возникают потери в адекватности оценки, однако на практике ими чаще всего пренебрегают (что правомочно только в частных случаях).

Проделанный краткий обзор показал, что первичные и/или вторичные параметры принимаемого сигнала, их статистические характеристики, несут в общем случае неполную информацию о степени соответствия требованиям минимизации потерь полезной информации. Поэтому далее мы будем применять критерий качества информационных радиосистем, определяемый именно как мера потерь полезной информации в ИРС (назовем его - критерий «мининфо»). Такой подход в целом – не новинка в радиотехнической системологии [5, 6, 14, 16]. Разработчиков ИРС привлекают его общность и инвариантность по УСФ, удобство для математического моделирования и соответствие практическим нуждам проектирования систем. Но у разных авторов он отличается терминологией, степенью допущений при анализе и деталями, иногда – очень важными, что приводит к широкому разбросу выводов. Фактически во всех случаях применения «мининфо» авторами данной работы речь будет идти об оценке качества ИРС с точки зрения приспособленности канала передачи/приема сигналов в системе для решения задачи минимизации потерь полезной информации. Приведенное описание способов оценки является достаточным для того, чтобы, используя функциональное представление сигналов в различных точках ИРС [2], выполнить сравнительный анализ этих способов. Необходимым условием для этого является адекватное определение полезной и помеховой составляющей сигналов в приемном тракте при заданном способе обработки.

2. Постановка задачи оценки качества ИРС

В [10] оценку эффективности систем $S_{эф}$ предлагается выполнять, базируясь на комплексе показателей качества, основой получения которых является иерархическое функционально-морфологическое описание ИРС:

$$S_{эф} = (\Theta, C, Ст, K), \quad (2)$$

где Θ , C , $Ст$, K – множество элементов, структур, связей и композиций в системе. Соответственно, должны выделяться границы подсистем, определяться множества элементов Θ , их входов U и выходов U_v . При этом множества показателей качества $\{k\}$ характеризуют меру отличия многопараметрических выходов U_v от требуемых/ожидаемых выходов U'_v , полученных исходя из оправданной эвристики, корректного расчета, опытных или экспериментальных данных (метрика уклонения очевидно – L_2): $\{k\} = \{(U - U'_v)\}$.

Такую оценку качества ИРС методом функциональной невязки при полном и корректном описании (моделях) показателей качества и выходов U'_v , следует признать единственно правильной, как обладающую необходимой общностью по УСФ. Однако, при этом надо иметь еще соответствующие множества потребительских требований к показателям качества. Количество таких требований может оказаться относительно большим. К тому же они основаны на требованиях к выполнению тактико-технических характеристик - ТТХ ИРС, которые зачастую, как и УСФ, не формализованы для вычислительных процедур, формулируются исходя из опытно-практических, подчас интуитивных представлений. Вновь подчеркнем: под «качеством информационных радиосистем» мы будем понимать меру потерь полезной информации в ИРС. Соответственно, постановка задачи оценки

качества ИРС должна заключаться или в опытно-экспериментальном определении меры потерь полезной информации, или в математической формулировке расчетной оценки качества системы по критерию «мининфо» при различных способах обработки сигналов методом функциональной невязки.

Математическая формулировка оценки качества ИРС основывается на описании формирования S_2 - выходного сигнала системы. Базой для этого является, изложенная в работе [2], модель прохождения сигналов по системе в различных условиях, построенная с использованием математического аппарата функционального анализа. При этом под полезной составляющей сигнала в выражениях для S_2 будем понимать те элементы, которые содержат искомую информацию и могут быть выделены с наименьшими ее потерями (т.е. с наименьшей степенью искажений) в соответствии со способом обработки. Например, основываясь на имеющихся данных о характеристиках ионосферы на трассах КВ-радиосвязи [4], можно утверждать, что при определении S_2 операторы воздействия ионосферы A_0 будут формировать помеховую составляющую. И наоборот, в системах локации и зондирования ионосферы именно эти операторы будут определять полезный сигнал.

Наиболее общий известный способ максимального выделения информации из принятого сигнала – минимизация потерь ΔI этой информации в заданной метрике, например в L_2 (далее все выкладки выполняются именно в L_2):

$$\Delta I^2(\xi, t)_{\text{отн}} = \left\| \tilde{S}_2(\xi, t) - \bar{S}_2(\hat{\xi}, t) \right\|_{L_2}^2 \Rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\tilde{S}_2(\xi, t)$ – принимаемый сигнал; $\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)$ – опорный сигнал; ξ и $\hat{\xi}$ – информационный параметр и его оценка.

Решение задачи (3) обозначим $\tilde{\xi}$.

Модель (3) определяет наиболее общую математическую модель оценки качества ИРС по «мининфо» и могут быть трансформированы к выражениям, описывающим это качество в виде соотношений для различных способов обработки сигналов.

Выражение для потерь информации, как известно [12, 15], может быть развернуто:

$$\Delta I^2(\xi, t) = \left\| \tilde{S}_2(\xi, t) \right\|^2 + \left\| \bar{S}_2(\hat{\xi}, t) \right\|^2 - 2R(\tilde{S}_2(\xi, t), \bar{S}_2(\hat{\xi}, t)). \quad (4)$$

Отсюда следует логичный, на первый взгляд, вывод, что $\min \Delta I^2(\xi, t)$ будет реализован при максимуме скалярного произведения - вычитаемого в (4). В радиолокации это нашло свое отражение в требовании максимизации функции неопределенности. В самом деле, если рассматривать вариант прохождения сигнала по трассе с постоянными параметрами и без каких-либо возмущающих воздействий, то решение задачи (3) эквивалентно решению следующей задачи:

$$Re \left(\tilde{S}_2(\xi, t), \bar{S}_2(\hat{\xi}, t) \right) \Rightarrow \max. \quad (5)$$

Оно даст наиболее точное решение для $\tilde{\xi}$. Физически это объясняется тем, что принимаемый сигнал в оговоренных условиях является адекватным функциональным отображением излучаемого сигнала, замаскированным помехами. Или, иными словами, пространство $\{\tilde{S}_2\}$ всех возможных видов принимаемого сигнала может быть разбито на k непересекающихся (или слабо пересекающихся) по одному

или несколькими параметрами областей $\{\tilde{S}_2^{(1)}\}, \{\tilde{S}_2^{(2)}\}, \dots, \{\tilde{S}_2^{(k)}\}$, и, в зависимости от того, в какую область попадает S_2 , может быть получено точное решение. Такая модель легла в основу всех существующих алгоритмов обработки и принятия решений. Известно, что решающие правила, основанные на указанной, почти всегда идеализированной модели, вытекают из критерия среднего риска:

$$P(\hat{\xi}) = \int \int_{\{\hat{\xi}\} \times \{\xi\}} r(\hat{\xi}, \xi) P(\hat{\xi}, \xi) d\hat{\xi} d\xi, \quad (6)$$

и критерия условного риска

$$P(\hat{\xi}/\xi) = \int_{\{\tilde{S}_2\}} r[W(\tilde{S}_2), \xi] P(\tilde{S}_2/\xi) d\tilde{S}_2, \quad (7)$$

где $r(\hat{\xi}, \xi)$ – функция потерь (штрафа) при оценке ξ ;

$W(\tilde{S}_2)$ – решающее правило оценки ξ – оператор обработки сигнала;

$P(\hat{\xi}, \xi)$ – совместная плотность вероятности реализации $\hat{\xi}$ и ξ ;

$P(\xi/\tilde{S}_2)$ – функция правдоподобия ξ при приеме \tilde{S}_2 .

При этом основной методологической предпосылкой к переходу от (6) к (7) является условие, что между $\hat{\xi}$ и \tilde{S}_2 существует регулярная связь, выражаемая оператором системы обработки $W(\tilde{S}_2) \Rightarrow \hat{\xi}$. Предполагается, таким образом, справедливость равенства:

$$P(\hat{\xi}, \xi) d\hat{\xi} d\xi = P(\tilde{S}_2, \xi) d\tilde{S}_2 d\xi,$$

что далеко не всегда имеет место [17]. На практике при оценке информационных параметров по принимаемому сигналу с помощью обычных измерительных систем зачастую обнаруживается отсутствие однозначной функциональной связи между результатами обработки в приемнике и априорно точно известными данными об исследуемых характеристиках [7, 15].

Все вышеизложенное справедливо в каждом случае, когда возникает необходимость принять решение по результатам измерений о причинах, их породивших, то есть, решить классическую обратную задачу. Применительно к системам передачи информации и локации – это задача выделения и распознавания полезного сигнала. И здесь следует ожидать, что при значительных искажениях принятого сигнала, то есть, при его значительном отклонении в метрике L_2 от ожидаемого образа, могут иметь место большие ошибки выделения и распознавания полезной информации [7, 11, 15].

Из (3) следует, что при согласованной фильтрации и адекватном отображении из функционального пространства излучаемых в функциональное пространство принимаемых сигналов (идеальный случай) можно считать, что при устремлении к нулю уровня аддитивных помех $\Delta I^2(\xi, t) \Rightarrow 0$. Тогда $\hat{\xi} \rightarrow \xi$ и

$$Re(\tilde{S}_2(\xi, t), \tilde{S}_2(\hat{\xi}, t)) \Rightarrow \|\tilde{S}_2(\xi, t)\|^2,$$

что означает сопряженность $\tilde{S}_2(\xi, t)$ и $\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)$. При тех же допущениях и неадекватном отображении из функционального пространства излучаемых в функциональное пространство принимаемых сигналов потери информации будут определяться не только мерой ортогональности $\tilde{S}_2(\xi, t)$ и $\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)$, но и мерой их нормированной энергии. При фиксированных параметрах приемного тракта, реализующего согласованную фильтрацию функционально неискаженного сигнала $\bar{S}_2(\xi, t)$, радиоприем искаженного сигнала $\tilde{S}_2(\xi, t)$ будет, сопровождаться относительными потерями информации, пропорциональными соотношению

$$\Delta I^2(\xi, t)_{\text{отн}} = \frac{\|\tilde{S}_2(\hat{\xi}, t) - \bar{S}_2(\hat{\xi}, t)\|^2}{\|\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)\|^2}.$$

Это означает, что потери информации определяются отклонением в L_2 принятого сигнала от его модели, синтезированной в предположении полностью адекватного отображения из функционального пространства излучаемых в функциональное пространство принимаемых сигналов. И если искажения принятого сигнала значительны или модель неверна, следует ожидать произвольно большого отклонения, то есть больших потерь информации.

При адаптивном радиоприеме, когда реализация фильтрующих свойств приемного тракта обработки будет осуществляться, например, с ориентировкой на наименее искаженную аддитивную составляющую принимаемого сигнала, относительные потери информации при существенных искажениях на трассе или из-за возмущающих мультипликативных воздействий (ВВ) будут, очевидно, меньше:

$$\Delta I^2(\xi, t)_{\text{отн}} \sim \frac{\|\tilde{S}_2(\xi, t) - \bar{S}_2(\hat{\xi}, t)\|^2}{\|\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)\|^2}.$$

Таким образом, потери информации в этом случае определяются отклонением в L_2 принятого сигнала от его модели $\bar{S}_2(\hat{\xi}, t)$, синтезированной в предположении возможного неадекватного отображения из функционального пространства излучаемых в функциональное пространство принимаемых сигналов.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что оценки качества ИРС различного вида по критерию «мининфо», обладают достаточной общностью и адекватностью по условиям функционирования при адекватности, как и следовало ожидать, применяемых моделей ВВ и/или рассеяния сигнала средой.

Очевидно, что при разных способах измерений и обработки сигналов в приемном тракте, результаты определения качества постоянно действующих ИРС, как меры потерь информации $\Delta I^2(\xi, t)$, будут в общем случае различны. Большое значение при этом имеет также рассматриваемая разновидность каналов ИРС: радиосвязи, локации, НЗ или ВНЗ, так как это также накладывает ограничения на понятие «полезная составляющая выходного сигнала» и способы ее определения.

Список литературы

- [1] Алебастров В.А., Гойхман Э.Ш., Заморин И.М., Колосов А.А., Корадо В.А., Кузьминский Ф.А., Кулис Б.С. Основы загоризонтной радиолокации / Под ред. А.А. Колосова. М.: «Радио и связь», 1984. 256 с.
- [2] Амбарцумов К.С., Арефьев В.И., Гордеев В.А., Талалаев А.Б. Обобщенный функциональный анализ информационных радиосистем // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2015. № 1. С. 83–101.
- [3] Ануфриев А.И., Ватолло В.В., Гордеев В.А. и др. Методы, средства и результаты экспериментально-теоретических исследований характеристик сигналов в каналах декаметрового диапазона. Депонированная рукопись № 32-69, НИИЭИР, 1987.
- [4] Афраймович Э.Л. Интерферометрические методы радиозондирования ионосферы. М.: «Наука», 1982. 198 с.
- [5] Бухвинер В. Е. Оценка качества радиосвязи. М.: «Связь», 1974. 225 с.
- [6] Варганов М.Е., Зиновьев Ю.С. и др. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов. М.: «Радио и связь», 1985. 236 с.
- [7] Герасимов Ю.С., Гордеев В.А., Кристаль В.С. Оценка параметров возмущающих воздействий на трассах дальней радиосвязи. М.: «Радиотехника», 1982.
- [8] Гордеев В.А., Дубровский В.А. Качество постоянно действующих каналов информационных радиосистем с ретрансляцией. М.: «Электросвязь», 1995. 12 с.
- [9] Доррер И.А. Устройство оценки отношения сигнал/помеха в действующем радиоканале. М.: «ЭКОС», «Техника средств связи», 1985. № 2.
- [10] Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. М.: «Советское радио», 1976. 296 с.
- [11] Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Перевод с англ. в двух томах. М.: «Мир», 1981. 607 с.
- [12] Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: «Наука», 1972. 496 с.
- [13] Кремер И.Я., Владимиров В.И., Карпунин В.И. Модулирующие (мультипликативные) помехи и прием радиосигналов. М.: «Советское радио», 1972. 480 с.
- [14] Окунев Ю.Б., Плотников В.Г. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. М.: «Связь», 1976. 184 с.
- [15] Отчет по НИР «Интервал» – Оптимизация определения параметров возмущающих воздействий на трассах дальней радиосвязи. Гос. рег. № 81063115. М.: МГУ, 1981. 119 с.
- [16] Урецкий Я.С., Казанцев А.В. Оценка эффективности сложных радиоэлектронных систем // Радиоэлектронные устройства и системы. 1995. 5 с.

- [17] Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. М.: Радио и связь, 1981. 288 с.

Аббревиатуры, термины и сокращения

«Мининфо» – критерий качества информационных радиосистем
ИНС – информационные системы
ИРС – информационные радиосистемы
РСв – радиосвязь
РЛк – радиолокация
РЗн – радиозондирование
РНв – радионавигация
ЭМВ – электромагнитные волны
ЭМО – электромагнитная обстановка
УСФ – условия функционирования
ИД – исходные данные
РПУ – радиоприемное устройство
РПД – радиопередающее устройство
АФУ – антенно-фидерное устройство
АПР – антенна приемника
АП – антенна передатчика
ДК – декодер
ДМ – демодулятор
АП – аддитивные («активные») помехи
МП – мультипликативные помехи (МП-воздействия)
ПС – полезный сигнал
ВВ – возмущающее воздействие
ПП – пассивные помехи
ФАн – функциональный анализ
РГО – регуляризованный обнаружитель
КРП – РПУ с корреляционной обработкой
ФВН – функция взаимной неопределенности
ТТХ – тактико-технические характеристики
ССИ – степень спектральных искажений
СПВИ – сверхпороговые временные искажения
ВПО – вероятность правильного обнаружения
ВЛТ – вероятность ложной тревоги
СЭХ – спектрально-энергетические характеристики
ЗС – зондирующий сигнал
ТС – тест-сигнал
ТУ_{*i*} – *i*-й участок трассы распространения сигнала
ТН – участок трассы распространения, не содержащий МП-воздействий

Обозначения

$P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки

- $P'_{\text{ош}}$ – статистическая частота ошибок
 $P_{\text{обн}}$ – вероятность правильного обнаружения
 $P'_{\text{обн}}$ – статистическая частота обнаружения
 t – время
 f – частота
 Δf – частотный интервал
 τ – длительность или временной интервал (например – задержка)
 i -й – координата перечисления каких-либо элементов
 n или m – размерность
 A_i – n -мерный в общем случае интегральный оператор воздействия на сигнал (оператор его функционального преобразования)
 $S_{\text{эф}}$ – оценка эффективности системы
 S_2 – выходной сигнал системы
 g – излучаемый сигнал
 \tilde{S}_2 или $\tilde{S}_2(Z, \ell)$ – принимаемый сигнал
 δ_D – функция Дирака
 L_2 – метрика уклонения функций
 ΔI – уклонение в L_2 функционала \tilde{S}_2 от эталонной модели $\tilde{S}_{2\text{ЭТ}}$ принимаемого сигнала (рассматривается как оценка потерь полезной информации)
 $\tilde{S}_{2\text{ЭТ}}^K$ или $\tilde{S}_{2\text{ЭТ}}(\hat{Z}, \ell)$ – опорный сигнал (эталонная модель принимаемого сигнала)
 $\tilde{S}_{0\text{ЭТ}}(\hat{Z}, \ell)$ – известная априорно, или из адекватных экспериментальных данных, модель (эталонная) комплекса МП-воздействий на сигнал
 $\{Z\}$ – пространство информационных параметров
 $[\square] \in Z$ – интервальная оценка допустимых информационных параметров в пределах пространства их возможных априорно – экспериментальных данных $Z \in \{Z\}$ и погрешностей измерений принимаемого сигнала
 $[\ell]$ – замкнутое множество радиофизических параметров принимаемого сигнала, отображающее его многомерность по времени t , частоте f , задержке τ_z , углам прихода \square_i в точку приёма и т. д.
 $\sup\{\square\}$ – максимум множества $\{\square\}$
 $\xi(\delta, h)$ – совокупная погрешность измерений \tilde{S}_2
 δ и h – параметры, характеризующие, соответственно, случайную и систематическую погрешности измерений \tilde{S}_2
 S_0 или $S_0(t, f, \tau, \dots)$ – собственные электрофизические свойства ВВ
 $S_0(\tau)$ – «собственный» спектр задержек ВВ
 $S_0(f)$ – «собственный» частотный спектр ВВ
 δ_i или σ_i – эффективная ширина i – й моды частотного спектра ВВ
 $\Delta f_0 = |f_{\min} - f_{\max}|$ – разность частот между крайними модами спектра
 f_i – положение максимума i – й моды спектра
 $\Delta f_P = \Delta f_0 + \delta_{i\min}/2 + \delta_{i\max}/2$ – эффективная ширина собственного спектра МП
 $C_A = A_{i\max}/A_{i\min}$ – соотношение амплитуд крайних мод спектра
 i – амплитуда i – й моды спектра
 τ_z – задержка
 τ_i – положение максимума i – й моды по задержке

$\Delta\tau_0 = \tau_{i\min} - \tau_{i\max}$ – разность задержек между крайними модами спектра задержек

$\Delta\tau_p = \Delta\tau_0 + \eta_{i\min}/2 + \eta_{i\max}/2$ – эффективная ширина собственного спектра задержек

$\Delta\tau_0 = \tau_{i\min} - \tau_{i\max}$ – разность задержек между крайними модами спектра задержки

η_i – эффективная ширина i – й моды спектра задержек ВВ

$\tau_{ЗС}$ или τ_n – длительность ЗС/ импульса ЗС

F_n – частота повторения импульсов ЗС

$\Delta f_{ЗС}$ – эффективная ширина полосы частот ЗС

θ – ракурс (угол между основным направлением распространения ЭМВ сигнала и основным направлением движения ВВ)

$\Delta t_{кк}$ – интервал существенной корреляции принимаемого сигнала по времени

$\Delta f_{кк}$ – интервал существенной корреляции принимаемого сигнала по частоте

$\bar{S}_{АП}$ – известная априорно, или из адекватных экспериментальных данных, модель комплекса аддитивных («активных») помех

q – отношение сигнал/помехи

ζ_n – пороговое значение q

$S_{с+п}$ – суммарная мощность сигнала и помех

$U_{с+п}$ – суммарный уровень сигнала и помех

P – мощность помех

U_P – уровень помех

$q_{с+п}$ – отношение суммарной мощности сигнала и помех $P_{с+п}$ к мощности P_P помех

$W(\tilde{S}_2)$ – решающее правило оценки информационного параметра – оператор обработки сигнала

$P(\hat{\xi}, \xi)$ – совместная плотность вероятности реализации $\hat{\xi}$ и ξ

$P(\tilde{S}_2)/\xi$ – функция правдоподобия ξ при приеме \tilde{S}_2

Библиографическая ссылка

Амбарцумов К.С., Арефьев В.И., Гордеев В.А., Талалаев А.Б. Оценка качества информационных радиосистем // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2015. № 2. С. 95–108.

Сведения об авторах

1. Амбарцумов Константин Сергеевич

старший научный сотрудник закрытого акционерного общества «Радиотехнические и информационные системы воздушно-космической обороны».

Россия, 170041, г. Тверь, ул. Зинаиды Коноплянниковой, д. 89, корпус 1, ЗАО «РТИС ВКО».

2. Арефьев Владимир Игоревич

заместитель начальника отдела закрытого акционерного общества «Радиотехнические и информационные системы воздушно-космической обороны».

Россия, 170041, г. Тверь, ул. Зинаиды Коноплянниковой, д. 89, корпус 1, ЗАО «РТИС ВКО».

3. Гордеев Валерий Алексеевич

ведущий научный сотрудник закрытого акционерного общества «Радиотехнические и информационные системы воздушно-космической обороны».

Россия, 170041, г. Тверь, ул. Зинаиды Коноплянниковой, д. 89, корпус 1, ЗАО «РТИС ВКО».

4. Талалаев Александр Борисович

генеральный директор закрытого акционерного общества «Радиотехнические и информационные системы воздушно-космической обороны».

Россия, 170041, г. Тверь, ул. Зинаиды Коноплянниковой, д. 89, корпус 1, ЗАО «РТИС ВКО».

QUALITY EVALUATION OF INFORMATIONAL RADIO SYSTEMS

Ambartsumov Konstantin Sergeevich

Senior Researcher, Closed Joint Stock Company «Radio Engineering and Information Systems for Aerospace Defense».

Russia, 170041, Tver, 89 Zinaidy Konopliannikovoy str., block 1, JSC «RTIS VKO»

Arefyev Vladimir Igorevich

Deputy Head of Department, Closed Joint Stock Company «Radio Engineering and Information Systems for Aerospace Defense».

Russia, 170041, Tver, 89 Zinaidy Konopliannikovoy str., block 1, JSC «RTIS VKO»

Gordeev Valeriy Alekseevich

Leading Researcher, Closed Joint Stock Company «Radio Engineering and Information Systems for Aerospace Defense».

Russia, 170041, Tver, 89 Zinaidy Konopliannikovoy str., block 1, JSC «RTIS VKO»

Talalaev Aleksandr Borisovich

CEO, Closed Joint Stock Company «Radio Engineering and Information Systems for Aerospace Defense».

Russia, 170041, Tver, 89 Zinaidy Konopliannikovoy str., block 1, JSC «RTIS VKO»

Received 18.05.2015, revised 25.05.2015.

On the basis of a functional analysis of shaping and transiting of signals on informational radio systems (IPC), modes of handling of signals the choice of criterion of quality complicated IPC, representing their fitness for a solution of a problem of minimisation of losses of an end-product - the helpful information is justified. Statement of a problem of an estimation of quality IPC of the various aspect, possessing a sufficient generality and adequacy on methods of handling of signals in the conditions of multiplicative action and-or a casual modification of parametres of a medium on line IPC is formulated.

Keywords: informational radio systems, radar-tracking signal, measure of an estimate of quality.

Bibliographic citation

Ambartsumov K.S., Arefyev V.I., Gordeev V.A., Talalaev A.B. Quality evaluation of informational radio systems. *Vestnik TvGU. Seriya: Prikladnaya matematika* [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics], 2015, no. 2, pp. 95–108. (in Russian)